

La logistique dans un monde à +2 °C

Appel aux chargeurs et aux prestataires logistiques : accélérer les efforts visant à renforcer la résilience climatique des chaînes d'approvisionnement mondiales

Hambourg, mai 2025

Fondation Kühne et Kuehne Climate Center

La Fondation Kühne est une fondation familiale à vocation opérationnelle, qui développe principalement ses propres projets et programmes. Elle agit dans quatre domaines clés : la logistique, la santé, la culture et le climat. Le Kuehne Climate Center, créé en 2023, conçoit et met en œuvre des solutions logistiques destinées à réduire les émissions, à capter le CO₂ présent dans l'atmosphère et à renforcer la résilience climatique, afin de favoriser la transition vers une société bas-carbone et plus juste, en particulier dans les pays à revenu faible et intermédiaire.

Auteurs

Sophie t'Serstevens et Mark Major,
Kuehne Climate Center

Remerciements

Le Kuehne Climate Center tient à remercier Alan McKinnon, Regina Asariotis et Pietro D'Arpa pour leurs contributions et leurs conseils. Nous exprimons également notre reconnaissance à Sophie Punte, Mark Rubarenzya, Edgar Uribe, Jorge Coelho, Sébastien Burgess, Bruno Vandemeulebroecke, Jonas Stumpf et Friedel Sehlleier pour leur relecture. Toute erreur ou omission relève de la seule responsabilité des auteurs.

Avant-propos

Les chaînes d'approvisionnement subissent des perturbations constantes, partout et en permanence. Feux de forêt, cyberattaques, inondations, coupures de courant, tempêtes, grèves, droits de douane... chaque semaine apporte son lot d'événements. Si l'on ajoute à cela une instabilité géopolitique croissante, on obtient rapidement un cocktail explosif.

Depuis la pandémie de COVID, les entreprises ont renforcé leur vigilance afin de mieux se protéger contre les futures perturbations logistiques – et ce sujet reste plus que jamais d'actualité.

Bien souvent, les acteurs industriels et les distributeurs (également désignés par les termes de chargeurs ou acheteurs de fret) choisissent de reconfigurer leurs chaînes d'approvisionnement mondiales, par exemple en maintenant des stocks tampons, en recourant à la relocalisation de proximité (ou « nearshoring ») ou en diversifiant leur sourcing et leurs bases de production.

De leur côté, les prestataires logistiques (LSP) ont affiné leur rôle de véritables « pompiers de service ». Ils s'efforcent d'anticiper au mieux les perturbations qui peuvent toucher leurs réseaux et d'y réagir rapidement, en réajustant les calendriers de livraison, en réorientant les flux ou en s'appuyant sur des fournisseurs de repli. Les innovations technologiques apportent aussi une aide décisive : les jumeaux numériques des chaînes d'approvisionnement mondiales, associés aux outils d'analyse et à l'intelligence artificielle (IA), offrent aux chargeurs comme aux prestataires logistiques de nouveaux leviers pour renforcer leur résilience, gagner en efficacité et améliorer la qualité de leurs décisions.

Toutefois, un point essentiel est trop souvent négligé : ces stratégies ne font que contourner le problème. Pour le résoudre, il faut investir dès le départ dans des infrastructures logistiques, des opérations et des équipes capables de résister aux chocs.

Trois raisons justifient un changement de cap.
1) Les stratégies actuelles sont insuffisantes face à l'intensité du changement climatique, aujourd'hui comme dans les prochaines décennies. 2) Elles ne tiennent pas compte de notre dépendance à un



nombre restreint de zones de production pour des matières et produits clés – pensons au café, au cacao ou au cuivre. Et 3) elles aggravent la perte de moyens de subsistance des communautés locales, alourdissent la charge financière des entreprises et nuisent au pouvoir d'achat des consommateurs.

Ce livre blanc expose les arguments économiques en faveur d'une nouvelle étape, qui consiste à renforcer la résilience des chaînes d'approvisionnement. Il appelle les chargeurs et les prestataires logistiques à agir sans attendre – car c'est aussi dans leur intérêt.

C'est là qu'intervient Life-Links. Cofondée par le Kuehne Climate Center, cette organisation non gouvernementale internationale s'engage à bâtir des chaînes d'approvisionnement réellement résilientes, en mettant l'accent sur les maillons logistiques qui relient producteurs et consommateurs. En réunissant chargeurs, prestataires logistiques et autres parties prenantes autour d'investissements concrets qui permettront de maintenir nos chaînes d'approvisionnement en vie, nous renforçons leur résilience tout en réduisant les émissions.

Ensemble, construisons des chaînes d'approvisionnement résilientes et durables.

Sophie Punte

Cofondatrice et CEO de Life-Links, Fondatrice et membre du CA du Smart Freight Centre

Note de synthèse

Partout dans le monde, le changement climatique constitue une menace croissante pour les systèmes logistiques. L'évolution des régimes météorologiques et la multiplication des événements extrêmes endommagent **les infrastructures**. D'ici 2035, une société moyenne cotée dans le secteur des infrastructures et des transports devrait subir des pertes annuelles d'actifs immobilisés dues aux aléas climatiques de l'ordre de 50 à 53 millions de dollars, soit environ 7 % de ses bénéfices.

Si les images d'infrastructures détruites (routes emportées par les eaux, entrepôts effondrés...) dominant souvent les récits, les effets du changement climatique sur les systèmes logistiques vont bien au-delà des seuls dégâts matériels. Les aléas climatiques peuvent interrompre les services et perturber profondément les **opérations logistiques**, tant en raison de dommages directs que d'arrêts temporaires. Une tempête peut par exemple entraîner la fermeture d'un port sur plusieurs jours, ce qui provoquera un engorgement des navires et des répercussions en cascade sur l'ensemble des chaînes d'approvisionnement. Même les mesures préventives prises face à des conditions météo inhabituelles (restrictions de charge pour les avions, réduction de la vitesse des trains en période de forte chaleur) peuvent entraîner des retards et des inefficacités opérationnelles.

Au-delà des infrastructures et des opérations, **les équipes logistiques**, qui bien souvent opèrent en extérieur, sont elles aussi exposées aux aléas climatiques. Les événements météorologiques extrêmes accentuent les risques pour leur santé et leur sécurité. Les températures élevées exposent par exemple les effectifs à des risques accrus d'épuisement et de coups de chaleur.

Ces risques s'accompagnent de défis opérationnels, financiers et réputationnels croissants **pour les chargeurs comme pour les prestataires logistiques (LSP)**, qui sont responsables de définir et d'assurer les services de transport. Côté chargeurs, les perturbations et inefficacités liées au climat peuvent se traduire par des ruptures de stock, l'arrêt de

lignes de production, une baisse du chiffre d'affaires et de la confiance des clients. Pour les prestataires logistiques, citons notamment les dommages aux actifs, une hausse des coûts opérationnels et un préjudice réputationnel. Les LSP de petite et moyenne taille sont particulièrement vulnérables, car exposés à des menaces potentiellement existentielles en cas d'événements extrêmes et localisés. Si chargeurs et prestataires logistiques en subissent directement les pertes, les effets se propagent en cascade le long des chaînes d'approvisionnement, pour finalement influencer sur la disponibilité des produits et les prix à la consommation.

Malgré les risques croissants, les initiatives **d'adaptation au changement climatique et en faveur de la résilience restent insuffisantes** – notamment chez les chargeurs et les LSP. Les chargeurs négligent souvent la dimension logistique dans leurs stratégies d'adaptation, en axant leurs actions sur le sourcing et la production. Quant aux LSP, ils s'appuient généralement sur des plans de contingence et de continuité d'activité classiques, en partant du principe que les risques resteront dans les limites historiques. Or, la situation exige une approche plus transformationnelle.

Ce document appelle donc les chargeurs et les LSP à intensifier leurs initiatives d'adaptation et à contribuer au renforcement de la résilience climatique des chaînes d'approvisionnement. Ces efforts devraient cibler trois grands axes d'investissement :

- **Réaliser des évaluations des risques climatiques** à l'échelle des chaînes d'approvisionnement et des réseaux logistiques afin d'identifier les principales vulnérabilités touchant les infrastructures, les opérations et les équipes. Une approche prospective, s'appuyant sur les projections climatiques et les outils d'analyse avancée, est indispensable. L'intégration de telles évaluations dans le cadre plus large de la gestion des risques de l'entreprise garantit qu'elles seront prises en compte au même titre que les autres menaces.

Sommaire

- **Investir dans une résilience opérationnelle de premier plan** en renforçant les capacités de planification et de réponse pour anticiper et gérer de manière proactive les aléas climatiques. Cela implique l'adoption de bonnes pratiques « génériques » de résilience, telles que l'intégration de la planification par scénarios dans les processus clés, le déploiement d'outils améliorant la visibilité des réseaux, l'abonnement à des systèmes d'alerte précoce et la mise à jour régulière des protocoles d'intervention d'urgence.
- **Renforcer la résilience physique des infrastructures critiques.** Pour les infrastructures détenues en propre, les mesures de protection climatique peuvent être intégrées directement aux plans directeurs des entreprises ; pour les infrastructures tierces, la voie à suivre consiste à collaborer avec les propriétaires d'actifs (directement ou par l'intermédiaire d'associations professionnelles) afin de partager des retours d'expérience concrets et de réaliser des analyses de rentabilité en faveur d'investissements d'adaptation.

Les chargeurs et les LSP pilotent la logistique au quotidien et connectent chaque maillon d'immenses réseaux. Ils détiennent à la fois des leviers opérationnels et économiques pour impulser le changement. L'adaptation au climat n'est pas seulement indispensable à la pérennité de leurs activités et à la conquête d'un avantage concurrentiel : elle est aussi cruciale pour fiabiliser les chaînes d'approvisionnement, au service de la société dans son ensemble.

Cette adaptation doit aller de pair avec la décarbonation et les réponses découlant d'autres mutations majeures. Bien menées, ces démarches se renforcent mutuellement et contribuent à bâtir des systèmes logistiques plus durables et prêts pour demain. Tout retard dans l'action ne ferait qu'alourdir la facture, pour les acteurs économiques comme pour la société.

3 Avant-propos

4 Note de synthèse

6 Introduction

- 7 L'adaptation climatique dans le secteur logistique exige une attention accrue
- 7 Le secteur peut s'appuyer sur ses capacités de résilience
- 8 Les chargeurs et les prestataires logistiques sont des acteurs clés du changement

10 Chapitre 1 : Le diagnostic – Comment les aléas climatiques affectent les systèmes logistiques

- 10 Le monde pourrait se réchauffer de 2 °C d'ici 2040
- 10 Les évolutions climatiques graduelles sont en cours
- 11 Les événements météorologiques extrêmes gagnent en intensité et en fréquence
- 12 Les évolutions graduelles comme les événements extrêmes menacent les systèmes logistiques

19 Chapitre 2 : Renforcer la résilience – Des solutions rentables à portée de main

- 19 Un large éventail de solutions permet de renforcer la résilience et de favoriser l'adaptation
- 24 Les mesures d'adaptation sont souvent rentables
- 24 L'adaptation réduit les risques, mais ne les élimine pas totalement

25 Chapitre 3 : La voie à suivre – Quel rôle pour les chargeurs et les LSP ?

- 25 De multiples parties prenantes contribuent à l'adaptation logistique
- 26 Une adaptation efficace commence par l'évaluation des risques climatiques
- 26 Les chargeurs et les LSP doivent concentrer leurs efforts sur le renforcement de la résilience opérationnelle
- 27 La résilience opérationnelle doit être complétée par la résilience physique

29 Conclusion

30 Sources

1 Introduction

Les systèmes logistiques assurent la circulation des marchandises, ainsi que des informations qui y sont liées, entre producteurs et consommateurs (et vice versa), tant à l'intérieur qu'au-delà des frontières nationales et continentales. ¹ Ils englobent les infrastructures et les actifs, les réglementations, les processus et les outils, mais également les entreprises et les individus. Ils soutiennent le commerce et garantissent la livraison en temps voulu de biens essentiels : denrées alimentaires, médicaments, matériaux de construction ou encore pièces de rechange. Des systèmes logistiques performants sont le socle de la stabilité économique, du bien-être social et du fonctionnement de nos sociétés modernes.

Le changement climatique fait peser des risques majeurs et croissants sur les systèmes logistiques à l'échelle mondiale. L'évolution des régimes météorologiques et la multiplication des événements

extrêmes (tempêtes, inondations, canicules) endommagent les infrastructures logistiques et perturbent les opérations. Selon certaines études, 27 % des infrastructures routières et ferroviaires dans le monde sont exposées à au moins un aléa naturel ² et 86 % des ports à plus de trois. ³ Bien qu'il manque des données globales pour les voies navigables intérieures, les épisodes récents de sécheresse dans le canal de Panama (2023-2024), sur le Rhin (2022) ou le Yangtsé (2022) illustrent leur vulnérabilité croissante. Les entrepôts sont également exposés : une étude menée au Royaume-Uni les classe parmi les bâtiments commerciaux les plus vulnérables face au climat. ⁴

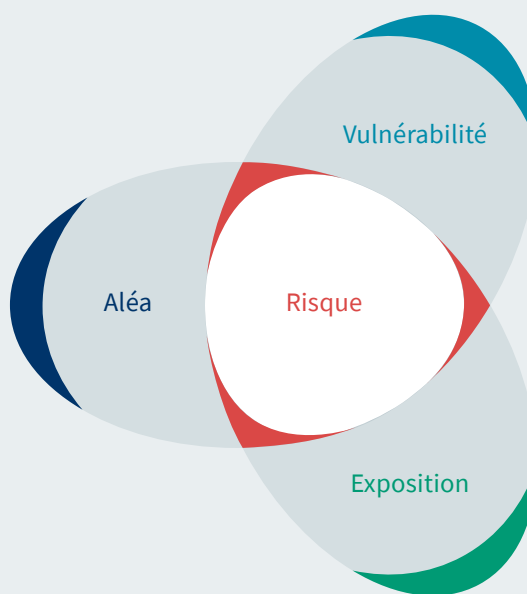
Les systèmes logistiques présentent plusieurs vulnérabilités intrinsèques. De nombreuses infrastructures critiques (ports, aéroports, réseaux ferroviaires) sont implantées dans des zones basses particulièrement exposées aux inondations.

Encadré 1. Quelques définitions ⁶

Un risque climatique résulte de l'interaction entre aléas, exposition et vulnérabilité.

- **Un aléa** correspond à la survenue potentielle d'un événement ou d'une tendance physique susceptible de porter atteinte aux sociétés et aux écosystèmes.
- **L'exposition** désigne la présence d'individus, d'espèces, d'infrastructures ou d'autres actifs de valeur dans des zones susceptibles d'être impactées par un aléa.
- **La vulnérabilité** désigne la propension ou la prédisposition à subir les effets négatifs d'un aléa.

L'adaptation consiste à réduire les risques climatiques en agissant sur l'exposition et la vulnérabilité.



1 Introduction

En raison de la nature linéaire des réseaux logistiques, tout dommage localisé (sur un pont ou une portion de route, par exemple) peut entraîner des perturbations en cascade sur l'ensemble du système. De plus, comme une grande partie des activités logistiques se déroule en extérieur, les opérations sont directement exposées aux conditions météorologiques.

Face à l'intensification des risques climatiques, le secteur logistique doit renforcer sa résilience et s'adapter. Bien que souvent utilisés de manière interchangeable, les deux termes désignent des concepts distincts : l'adaptation correspond au processus de transformation visant à réduire les dommages causés par les aléas climatiques, tandis que la résilience renvoie à la capacité de résister à ces aléas et de s'en relever⁵ (voir l'encadré 1 pour plus de précisions).

L'adaptation climatique dans le secteur logistique exige une attention accrue

Une analyse de plus de 8 000 publications spécialisées en logistique, parues entre 2015 et 2023, montre que moins de 1 % d'entre-elles traitent explicitement de l'adaptation climatique. Ce constat met en évidence un manque de recherche et de sensibilisation sur le sujet dans le secteur. Une analyse parallèle de documents publics issus de dix grands LSP et chargeurs révèle la même tendance : si les efforts de réduction des émissions sont souvent détaillés, l'adaptation, elle, est rarement, voire jamais abordée. Parmi les chargeurs analysés, aucun n'intégrait la dimension logistique dans ses stratégies d'adaptation. Lorsque des LSP mentionnaient l'adaptation, l'accent était surtout mis sur les aléas extrêmes, tandis que les phénomènes chroniques ou à évolution lente étaient rarement pris en compte. Seules deux entreprises considéraient le changement climatique comme une menace immédiate.

Certaines initiatives ont certes porté sur l'adaptation des grandes infrastructures, en particulier lorsque propriétaires, exploitants et investisseurs avaient un intérêt direct et des incitations financières à agir. Pourtant, en dépit de ces efforts, les risques restent considérables : si les tendances actuelles se confirment, une société moyenne cotée dans le secteur des infrastructures et des transports devrait subir, d'ici 2035, des pertes annuelles d'actifs immobilisés dues aux aléas climatiques de l'ordre de 50 à 53 millions de dollars, soit environ 7 % de ses bénéfices.⁷ Ces pertes pourraient grimper à 66–85 millions de dollars par an à l'horizon 2055.

Au niveau politique, seules 43 % des Contributions déterminées au niveau national (CDN) – à savoir les plans qui encadrent les objectifs de réduction des émissions et d'adaptation au changement climatique –, incluent des mesures d'adaptation liées aux transports.⁸ Et moins de 6 % fixent des cibles mesurables.⁹ Cette situation freine l'élan politique nécessaire pour impulser un changement systémique.

Le secteur peut s'appuyer sur ses capacités de résilience

Cela ne signifie pas que la question de l'adaptation logistique soit totalement ignorée. La résilience est depuis longtemps au cœur des préoccupations du secteur, et les aléas naturels sont régulièrement pris en compte dans la gestion des risques d'entreprise et les plans de continuité des activités. À bien des égards, la gestion des perturbations fait même partie intégrante du métier des professionnels de la logistique. Cependant, l'ampleur et la fréquence des perturbations liées au climat augmentent rapidement, et les efforts actuels ne suffisent plus. Nombre d'entreprises continuent de privilégier la recherche d'efficacité et la rapidité des livraisons, en partant du principe que les interruptions logistiques resteront comparables aux expériences passées – un pari de plus en plus risqué.

1 Introduction

Le défi ne réside pas seulement dans le fait d'accorder une attention accrue à la résilience : il faut également l'aborder avec la portée nécessaire. Beaucoup d'entreprises adoptent une vision trop étroite des risques climatiques, en se limitant à leurs propres opérations et en négligeant une approche élargie à l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement.¹⁰ Pour celles dont les chaînes s'étendent aux pays à revenu faible et intermédiaire, cela revient à ignorer des régions où les systèmes logistiques sont particulièrement vulnérables aux aléas climatiques, notamment du fait de la prédominance de LSP de petite taille ou informels, qui n'ont pas les ressources nécessaires pour renforcer leur résilience climatique.

Les chargeurs et les prestataires logistiques sont des acteurs clés du changement

Les chargeurs et les prestataires logistiques jouent un rôle central en matière de changement. Les premiers définissent les besoins en services de transport, les seconds les mettent en œuvre. Ensemble, ils disposent de leviers opérationnels et économiques essentiels pour bâtir des systèmes logistiques plus résilients face au climat. Ils peuvent renforcer la résilience de leurs propres chaînes et réseaux, là où ils exercent un contrôle direct. Ils peuvent aussi peser sur les discussions sectorielles en partageant leur expérience concrète avec les propriétaires d'infrastructures, les autorités publiques et l'écosystème au sens large, et contribuer à construire des analyses de rentabilité solides en faveur de projets d'adaptation.

Chargeurs et LSP sont aussi exposés à de lourdes pertes. Côté chargeurs, les perturbations liées au climat peuvent se traduire par des ruptures de stock, l'arrêt de lignes de production, une baisse du chiffre d'affaires et de la confiance des clients. Côté LSP, elles peuvent endommager les actifs, accroître les coûts opérationnels et créer un préjudice réputationnel.

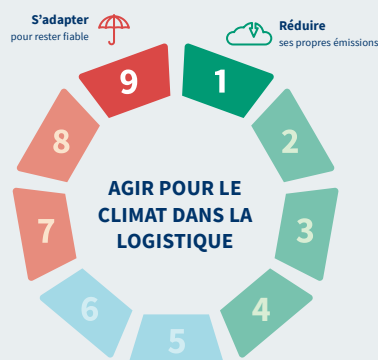
Ce livre blanc s'adresse donc directement à ces deux types d'acteurs. Il vise à sensibiliser sur la manière dont le changement climatique menace les systèmes logistiques en mettant l'accent sur les risques physiques et leurs impacts directs, attendus dans les 15 à 20 prochaines années. Il lance également un appel à l'action pour que chargeurs et LSP renforcent leurs initiatives de résilience et accélèrent l'adaptation dans le secteur logistique, à la fois par impératif climatique et par nécessité économique. Il est structuré comme suit :

- Le chapitre 1 aborde les risques climatiques qui pèsent sur les systèmes logistiques, en se concentrant sur les infrastructures, les opérations et la main-d'œuvre.
- Le chapitre 2 présente les solutions permettant de renforcer la résilience et de s'adapter à ces risques.
- Le chapitre 3 expose les actions prioritaires que les chargeurs et les LSP peuvent entreprendre pour impulser le changement.

Tandis que la température mondiale continue de grimper – avec un seuil de +2 °C susceptible d'être atteint dès 2040 –, les risques climatiques vont s'intensifier. Une transformation rapide sera indispensable pour que les systèmes logistiques restent fiables et capables de soutenir une société bas-carbone (voir encadré 2).

Figure 1 : Les neuf contributions de la logistique à une société bas-carbone

Source : KCC



Encadré 2. Les multiples contributions de la logistique à une société bas-carbone

Les systèmes logistiques sont essentiels à la réussite de la transition vers une société bas-carbone : ils doivent à la fois réduire leurs propres émissions et s'adapter au changement climatique (« Agir pour le climat dans la logistique »), tout en accompagnant les transformations plus larges de la société (« La logistique au service du climat ») (voir figure 1).

L'axe **Agir pour le climat dans la logistique** suppose de proposer des services compatibles avec le climat, afin de réduire (1) les émissions logistiques (en recourant à d'autres modes, d'autres carburants, de nouveaux modèles économiques, etc.) et d'**adapter** (9) les infrastructures et les opérations logistiques pour garantir leur fiabilité et leur efficacité dans un climat en mutation.

La **Logistique au service du climat** consiste à répondre aux nouveaux besoins d'autres secteurs de l'économie, eux aussi engagés dans une profonde transformation vers un avenir bas-carbone. La logistique doit ainsi **acheminer** (2) de nouveaux flux de produits bas-carbone (comme l'acier vert ou le bois de construction) et **diffuser** (3) les technologies bas-carbone (comme les panneaux solaires ou les batteries) nécessaires à grande échelle.

La logistique joue également un rôle clé pour **faciliter** (4) l'économie circulaire, qui permet de réduire l'utilisation de matières premières. Le captage du dioxyde de carbone (CDR) sera nécessaire à grande échelle pour stabiliser le climat, et la logistique devra assurer le **transport** (5) du dioxyde de carbone vers les sites de stockage et d'utilisation. Elle devra aussi **contribuer** (6) aux besoins croissants de l'industrie du CDR, par exemple en acheminant des minéraux destinés à l'altération forcée de roches, qui favorise la séquestration du carbone tout en améliorant la qualité des terres agricoles.

Quelle que soit la rapidité avec laquelle la société s'adapte au changement climatique, les urgences liées aux événements météorologiques extrêmes vont s'intensifier. La logistique doit donc être capable d'**intervenir** (7) en cas d'urgence. Enfin, elle devra **permettre** (8) l'adaptation des autres secteurs de l'économie, qu'il s'agisse de la construction de digues ou du déplacement d'infrastructures.

Si ce livre blanc se concentre sur l'adaptation des systèmes logistiques, il est essentiel de rappeler que cette mission doit s'accomplir en parallèle des huit autres contributions majeures à la transition climatique, tout en tenant compte des évolutions plus larges de la société, telles que les dynamiques démographiques et la transformation du commerce international.

1 Le diagnostic – Comment les aléas climatiques affectent les systèmes logistiques

Le monde pourrait se réchauffer de 2 °C d'ici 2040

Depuis 1970, la planète se réchauffe à un rythme sans précédent, plus rapide que sur toute autre période de 50 ans au cours des deux derniers millénaires.¹¹

Les années 2015 à 2024 constituent la décennie la plus chaude jamais enregistrée, et en 2024, la température moyenne mondiale a pour la première fois dépassé le seuil de +1,5 °C par rapport aux niveaux préindustriels.¹²

Avec une hausse des températures globales supérieure à 0,2 °C par décennie, Copernicus (le programme européen d'observation de la Terre) estime **qu'il est hautement probable que l'objectif de l'Accord de Paris (+1,5 °C) soit dépassé au cours des années 2030.**¹³ Cette estimation rejoint les projections du GIEC, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, (voir encadré 3), qui indiquent qu'un dépassement du seuil de +1,5 °C est jugé « *plus probable qu'improbable* » à « *très probable* » à court terme (2021-2040), et ce dans l'ensemble des scénarios d'émissions – qu'ils soient très faibles ou très élevés ¹⁴ (voir tableau 1).

Tableau 1 : Évolution de la température moyenne mondiale de surface sur différentes périodes de 20 ans, selon des scénarios d'émissions très faibles, intermédiaires et très élevés

Scénario d'émissions du GIEC	Réchauffement attendu pour 2021-2040	Réchauffement attendu pour 2041-2060	Réchauffement attendu pour 2081-2100
Très faible	1,5°C	1,6°C	1,4°C
Intermédiaire	1,5°C	2,0°C	2,7°C
Très élevé	1,6°C	2,4°C	4,4°C

Source : GIEC, AR6 GT I, SPM

En regard de l'objectif de limiter le réchauffement bien en deçà de +2 °C, le GIEC estime qu'un dépassement de ce seuil au cours de la période intermédiaire (2041-2060) est jugé « *plus probable qu'improbable* » à « *très probable* » dans les scénarios

d'émissions de gaz à effet de serre intermédiaires à très élevés ¹⁵ (voir tableau 1). **De récentes recherches indiquent en outre une forte probabilité d'atteindre +2 °C dès 2040** (voire plus tôt) dans la quasi-totalité des régions du monde,¹³ ce qui suggère que la trajectoire actuelle nous mène plus rapidement que prévu vers ce seuil critique.

Encadré 3. À propos du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC)

Le GIEC est l'organisme des Nations Unies (ONU) chargé d'évaluer l'état des connaissances scientifiques sur le climat. Il synthétise les recherches afin de refléter le consensus scientifique mondial sur le changement climatique. Le GIEC ne mène pas de recherches propres, mais passe en revue de manière rigoureuse les études existantes et fournit aux décideurs des analyses fondées sur la science qui orientent l'action climatique à l'échelle mondiale.

Des évolutions climatiques graduelles sont en cours

À mesure que le réchauffement s'accroît, les changements dans le système climatique deviennent plus marqués. **Les températures** vont augmenter partout dans le monde, avec un réchauffement plus prononcé sur les terres que dans les océans, notamment dans certaines régions. **Les précipitations** vont croître à l'échelle mondiale, même si certaines zones connaîtront des baisses. Leur variabilité s'accroîtra également, tant sur le plan saisonnier qu'annuel. Les évolutions de **l'humidité des sols** suivront en grande partie celles des précipitations et pourraient accentuer localement les hausses de température. Les océans continueront de se réchauffer et de s'étendre, contribuant ainsi à **l'élévation du niveau de la mer**. **La glace terrestre** (glaciers et calottes glaciaires) ainsi que la **glace de mer** fondront, la fonte de la glace terrestre contribuant en outre à l'élévation du niveau de la mer. **Le dégel du pergélisol** s'accroîtra.¹⁰

1 Le diagnostic – Comment les aléas climatiques affectent les systèmes logistiques

Il ne s'agit là que de quelques-uns des processus graduels entraînés par le réchauffement climatique. Il est désormais évident qu'une grande partie des impacts entraîneront des chocs soudains et violents, avec notamment des événements météorologiques extrêmes.¹⁴

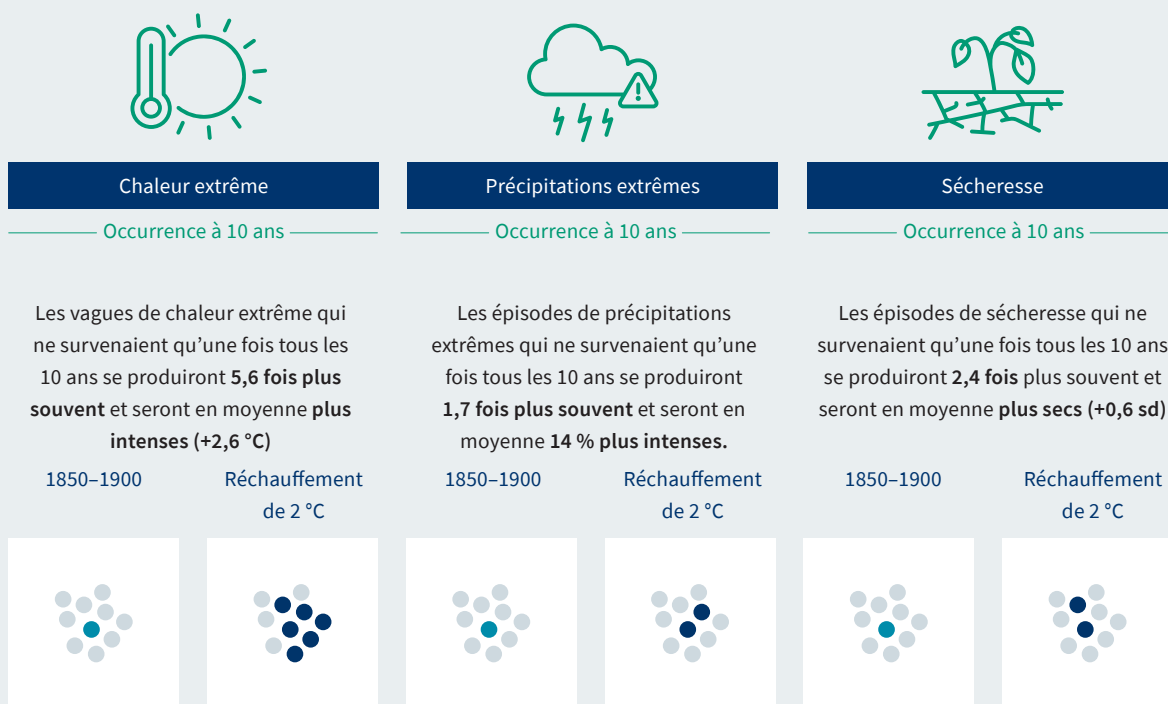
Les événements météorologiques extrêmes gagnent en intensité et en fréquence

Le changement climatique a déjà accru l'intensité et la fréquence **des vagues de chaleur, ainsi que de précipitations extrêmes**, tant au niveau global que régional. À chaque stade supplémentaire de

réchauffement, l'intensité et la fréquence de ces extrêmes augmentent encore. La même tendance s'observe pour les sécheresses, **les inondations et les cyclones**.¹¹

Le GIEC fournit des **projections chiffrées de ces phénomènes extrêmes dans un scénario de réchauffement à +2 °C**. Par exemple, les vagues de chaleur extrême qui ne survenaient qu'une fois par décennie à l'époque préindustrielle devraient être 5,6 fois plus fréquentes et en moyenne plus intenses (+ 2,6 °C).¹¹ La figure 2 illustre également des données comparables pour les précipitations extrêmes et les épisodes de sécheresse.

Figure 2 : Projections de l'évolution de l'intensité et de la fréquence des vagues de chaleur extrême, des précipitations extrêmes et des sécheresses



sd = écarts types

Source : GIEC, AR6 GT I, SPM

1 Le diagnostic – Comment les aléas climatiques affectent les systèmes logistiques

La fréquence **des épisodes extrêmes liés au niveau de la mer** va également s'accroître sous l'effet combiné de l'élévation du niveau des eaux et des ondes de tempête, entraînant davantage d'inondations côtières et d'érosion dans les zones basses. Le GIEC projette que les événements extrêmes liés au niveau marin, qui ne survenaient autrefois qu'une fois par siècle, se produiront au moins une fois par an d'ici 2100 sur plus de la moitié des sites équipés de marégraphes.¹¹

Au-delà de **leur intensité et de leur fréquence croissantes**, ces événements extrêmes vont également changer de **calendrier et de localisation**. Ils surviendront au cours de saisons et dans des régions où ils n'avaient jamais été observés. Le changement climatique favorise en outre l'émergence **d'événements extrêmes combinés**, à savoir l'apparition de plusieurs conditions extrêmes et simultanées. Ainsi, la conjonction de fortes chaleurs, de sécheresse et de vents violents accentue fortement le risque d'incendies de forêt, tandis que les inondations côtières peuvent résulter de l'effet cumulatif des ondes de tempête et de pluies diluviennes.¹⁵

Les évolutions graduelles comme les événements extrêmes menacent les systèmes logistiques

Pour structurer les évaluations des risques et des impacts, le GIEC a identifié 35 **facteurs d'impact climatique (CID)**, qui désignent des conditions liées au climat qui influencent les systèmes naturels et humains. Ils incluent des moyennes de long terme (par exemple la température ou les précipitations moyennes), des phénomènes courants (comme le gel et le dégel) ainsi que des événements extrêmes (tels que les inondations côtières ou les cyclones). Ces CIDs sont regroupés en sept catégories intuitives : **chaleur et froid, humidité et sécheresse, vent, neige et glace, zones côtières, océan ouvert**, et une catégorie « autres » pour les facteurs qui ne s'intègrent pas ailleurs.¹⁶

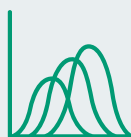
Le GIEC a analysé l'impact de ces facteurs sur les transports terrestres et maritimes (voir figure 3). Même si les systèmes logistiques ne se limitent pas à ces modes de transport, cette évaluation illustre l'éventail des aléas climatiques auxquels ils sont exposés.



Ampleur accrue



Calendrier différent



Fréquence accrue



Nouvelles zones géographiques

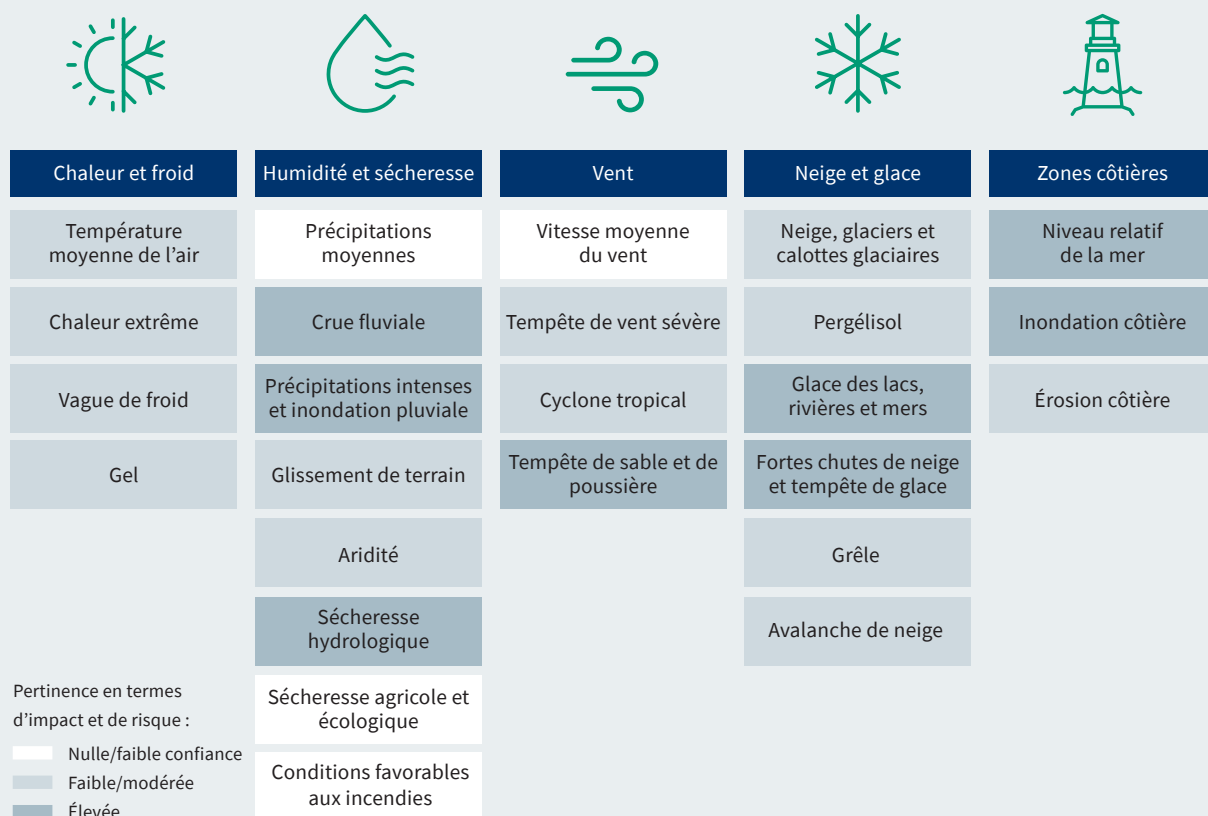


Nouvelles combinaisons (événements composés)

Les événements extrêmes ne seront pas seulement inédits par leur fréquence et leur intensité, mais aussi par leur calendrier, leur localisation et la combinaison de toutes ces dimensions.

Source : GIEC, AR6 GT I, SPM, Chapitre 11

Figure 3 : Facteurs d'impact climatique pertinents pour les transports terrestres et maritimes



 Chaleur et froid	 Humidité et sécheresse	 Vent	 Neige et glace	 Zones côtières
Température moyenne de l'air	Précipitations moyennes	Vitesse moyenne du vent	Neige, glaciers et calottes glaciaires	Niveau relatif de la mer
Chaleur extrême	Crue fluviale	Tempête de vent sévère	Pergélisol	Inondation côtière
Vague de froid	Précipitations intenses et inondation pluviale	Cyclone tropical	Glace des lacs, rivières et mers	Érosion côtière
Gel	Glissement de terrain	Tempête de sable et de poussière	Fortes chutes de neige et tempête de glace	
	Aridité		Grêle	
	Sécheresse hydrologique		Avalanche de neige	
	Sécheresse agricole et écologique			
	Conditions favorables aux incendies			

Pertinence en termes d'impact et de risque :

- Nulle/faible confiance
- Faible/modérée
- Élevée

Source : GIEC, AR6 GT I, SPM, Chapitre 12

Les paragraphes qui suivent examinent la manière dont les aléas climatiques affectent les systèmes logistiques, en mettant l'accent sur trois éléments clés exposés : **les infrastructures, les opérations et la main-d'œuvre**. Si les risques pesant sur les infrastructures bénéficient déjà d'une certaine attention – notamment de la part des investisseurs, des exploitants et des assureurs –, ceux qui concernent les opérations et la main-d'œuvre restent largement dans l'ombre. L'objectif de ce document n'est pas de dresser un inventaire exhaustif de tous les risques potentiels (une telle liste serait trop longue), mais de proposer une vue d'ensemble qui mette en lumière l'ampleur, la gravité et l'urgence des défis que le changement climatique fait peser sur les systèmes logistiques.

Bien que l'analyse se concentre ici sur les risques physiques directs, le changement climatique peut également perturber indirectement les systèmes logistiques en exacerbant les tensions sociales et géopolitiques, qu'il s'agisse de crises liées au coût de la vie, d'instabilité politique ou de conflits. Ces risques et d'autres du même ordre, comme les pandémies ou les migrations à grande échelle, sortent du cadre de ce document mais renforcent encore la nécessité de consolider la résilience des systèmes logistiques.

1 Le diagnostic – Comment les aléas climatiques affectent les systèmes logistiques

A. Infrastructures logistiques

Lorsqu'il s'agit d'évaluer les risques du changement climatique sur les systèmes logistiques, les dommages aux infrastructures sont souvent la première source de préoccupation. Les images d'actifs détruits – routes éventrées, ports ravagés – marquent durablement les esprits, et de nombreuses recherches mettent en évidence les menaces que font peser les événements météorologiques extrêmes. Les catégories de CID liées à la chaleur et au froid, à l'humidité et à la sécheresse, au vent, à la neige et à la glace ainsi qu'aux zones côtières sont toutes pertinentes pour analyser les risques qui pèsent sur les infrastructures logistiques.



Chaleur et froid. Les épisodes de chaleur extrême peuvent déformer et accélérer la dégradation des routes et des pistes d'aéroport. Ils peuvent aussi dilater et déformer les rails, ce qui augmente le risque de déraillement. À l'inverse, le froid extrême et les variations répétées gel-dégel fragilisent et dégradent routes, pistes d'aéroport et voies ferrées.



Humidité et sécheresse. Les modifications des régimes de précipitations devraient affecter les remblais et les ouvrages en terre, tels que les assises de routes et de voies ferrées, en favorisant par exemple l'érosion et les glissements de terrain. Ces phénomènes peuvent causer d'importants dommages aux routes comme aux infrastructures ferroviaires. De plus, en augmentant les débits fluviaux, les précipitations intenses accroissent le risque d'affouillement des piles de ponts et compromettent leur intégrité.



Vent. Les ponts sont particulièrement vulnérables aux vents violents, qui peuvent provoquer des dommages structurels et, dans les cas extrêmes où les vitesses dépassent les seuils de conception, entraîner leur effondrement. Les entrepôts et autres installations de stockage sont eux aussi exposés, les rafales pouvant arracher les toitures ou déstabiliser les structures.

Dans certains contextes, le vent entraîne également la perte de matériaux granulaires (comme le gravier) sur les routes, ce qui accélère leur détérioration et provoque une usure prématurée.



Neige et glace. Si les événements liés à la neige et à la glace devraient globalement diminuer, ils apparaîtront dans des zones inattendues. Cela peut poser un risque pour des infrastructures qui ne sont pas conçues pour y faire face. L'accumulation importante de neige peut surcharger les toitures d'entrepôts et d'autres bâtiments, allant jusqu'à provoquer leur effondrement.



Zones côtières. Les inondations côtières, causées par l'élévation du niveau de la mer et les ondes de tempête, peuvent endommager gravement les ports maritimes ainsi que les routes, ponts et voies ferrées sur ces zones. Les submersions répétées par l'eau salée accélèrent également la corrosion et fragilisent routes, ponts et voies ferrées longeant le littoral.

Les impacts directs de ces risques sont évidents : **hausse des coûts de réparation et d'entretien** des infrastructures endommagées, mais aussi **pertes financières** lorsque les infrastructures deviennent irrécupérables. Bien que les chargeurs et les LSP ne supportent généralement pas directement ces coûts (puisque'ils détiennent peu d'infrastructures), ils en subissent néanmoins les conséquences à travers les **perturbations et les inefficacités qui en résultent**, comme nous le verrons dans la section suivante.

1 Le diagnostic – Comment les aléas climatiques affectent les systèmes logistiques



En juillet 2021, des pluies diluviennes ont provoqué des inondations en Allemagne de l'Ouest, causant d'importants dégâts aux routes et aux infrastructures ferroviaires, pour un coût de réparation estimé à 2 milliards d'euros. Plus de 130 km d'autoroutes ont dû être fermés, certaines durant plusieurs mois, et 62 des 112 ponts situés dans la zone la plus touchée ont été détruits, seuls la moitié ayant pu être remis en service dans le mois qui a suivi. Le réseau ferré allemand a également subi des dommages considérables, avec 600 km de voies détruites. Si certaines réparations ont été effectuées en quelques mois, les tronçons les plus gravement touchés ne devraient être complètement restaurés qu'en 2025.¹⁷ Bien que le coût spécifique de cette perturbation n'ait pas été publié, les interruptions de transport dues aux événements météorologiques extrêmes sont estimées à 2,5 milliards d'euros par an dans l'ensemble de l'Union européenne.¹⁸

B. Opérations logistiques

Les risques climatiques pesant sur les infrastructures, tels que décrits précédemment, entraînent des effets en cascade sur les opérations logistiques. Les dommages aux infrastructures, ainsi que l'intensification des travaux de réparation et de maintenance, peuvent rendre certains segments ou nœuds d'un réseau logistique inaccessibles, provoquant des perturbations et des inefficacités à court ou à long terme. Si les exemples évoqués concernent surtout les infrastructures logistiques, les aléas climatiques peuvent également affecter

les systèmes de soutien, tels que les réseaux énergétiques ou de télécommunications, amplifiant encore les perturbations et inefficacités.

Toutes les interruptions opérationnelles ne découlent pas de dommages physiques aux infrastructures. Les CID liés à la chaleur et au froid, à l'humidité et à la sécheresse, au vent, à la neige et à la glace ou encore aux zones côtières peuvent aussi affecter directement les opérations logistiques – même lorsque les infrastructures restent intactes.

1 Le diagnostic – Comment les aléas climatiques affectent les systèmes logistiques



Chaleur et froid. Les épisodes de chaleur extrême peuvent entraîner le ralentissement des trains pour éviter les déraillements, la suspension des opérations des grues dans les ports afin d'éviter la surchauffe et les pannes techniques, ou encore des restrictions de poids aux avions en raison de la perte de portance. Une exposition prolongée à des températures élevées peut également endommager les stocks et cargaisons sensibles à la chaleur en l'absence de systèmes de refroidissement adaptés. L'élévation des températures accroît par ailleurs les besoins en réfrigération, entraînant un recours accru aux systèmes de froid et des durées de fonctionnement prolongées.



Humidité et sécheresse. Les précipitations intenses peuvent inonder routes et voies ferrées, et les rendre temporairement impraticables. Elles peuvent aussi submerger entrepôts et terminaux portuaires, endommageant stocks et cargaisons et provoquant des arrêts d'activité. Elles peuvent encore faire monter le niveau des voies navigables intérieures au-delà des limites de navigabilité. À l'inverse, les épisodes de sécheresse peuvent entraîner des niveaux d'eau extrêmement bas, imposant des restrictions à la navigation.



Vent. Les vents latéraux peuvent retarder les décollages et atterrissages, tandis que des vents violents peuvent clouer les avions au sol. Dans les ports maritimes, de fortes rafales peuvent contraindre à interrompre les opérations des grues pour des raisons de sécurité. Sur les routes, elles rendent la conduite dangereuse, en particulier pour les véhicules hauts, et peuvent entraîner la fermeture temporaire de certains axes.



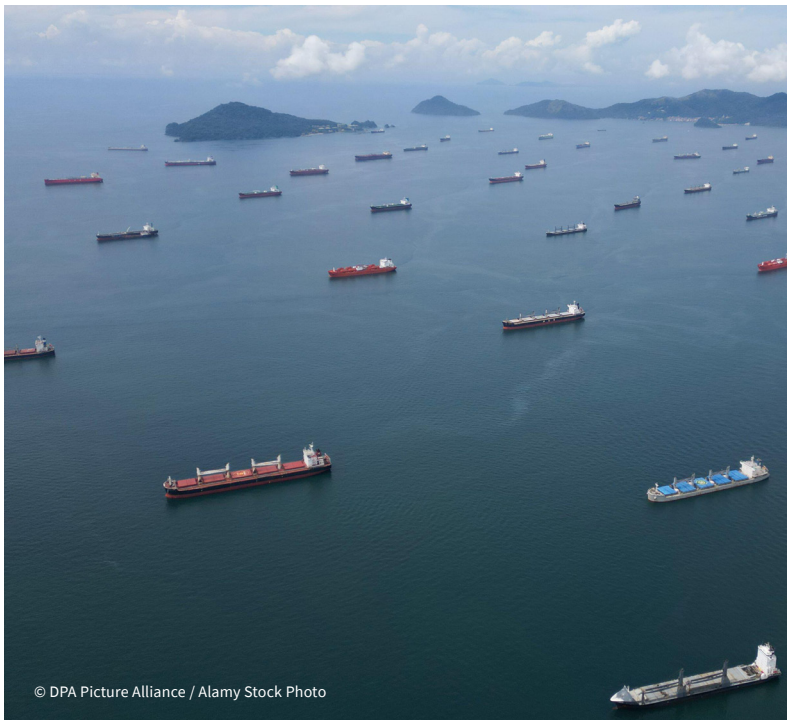
Neige et glace. Une diminution des chutes de neige et de glace peut offrir certains avantages, comme l'allongement des saisons de navigation aux hautes latitudes et la possible ouverture de routes maritimes arctiques. Mais la neige et la glace continueront de peser sur les opérations logistiques, particulièrement dans des régions peu habituées à ces conditions. Leur accumulation peut provoquer la fermeture temporaire d'aéroports et de routes ou retarder les activités dans les entrepôts. Par ailleurs, la diminution de la fonte des glaciers et du manteau neigeux pourrait accroître la fréquence des étiages, limitant la navigabilité de certaines voies navigables intérieures.



Zones côtières. Les inondations et ondes de tempête peuvent submerger les ports maritimes et entraîner leur fermeture temporaire. Elles peuvent aussi rendre impraticables les routes et voies ferrées côtières.

Ces perturbations et inefficacités opérationnelles ont des répercussions économiques bien réelles pour les chargeurs et les LSP. Pour ces derniers, elles se traduisent par **une hausse des coûts d'exploitation et des retards de livraison**. Si des pénuries temporaires de capacité peuvent permettre à certains prestataires d'augmenter leurs prix en période de crise, ces gains restent éphémères, car les chargeurs deviennent de plus en plus exigeants et attentifs aux risques. Pour les chargeurs, ces perturbations peuvent se matérialiser par **des ruptures de stock, des arrêts de production et des pertes de ventes**. Chargeurs comme LSP insuffisamment préparés risquent également de voir leur **image de marque se détériorer** et de perdre du terrain face à des concurrents plus résilients.

1 Le diagnostic – Comment les aléas climatiques affectent les systèmes logistiques



© DPA Picture Alliance / Alamy Stock Photo

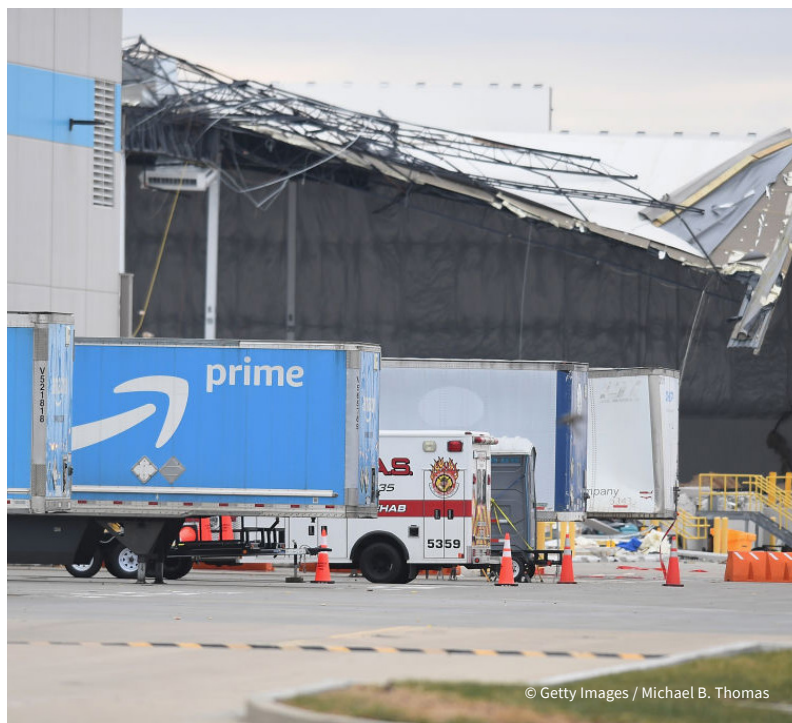
Les graves sécheresses au Panama, provoquées par l'effet conjoint d'El Niño et du changement climatique, ont fait de 2023 la deuxième année la plus sèche jamais enregistrée, entraînant un niveau d'eau historiquement bas dans le lac Gatún, principale source d'alimentation du canal de Panama. En réponse, l'Autorité du canal de Panama a restreint le trafic maritime en juillet 2023, provoquant un goulet d'étranglement et de fortes perturbations dans le transport maritime mondial. Ces restrictions sont restées en vigueur pendant un an, et le nombre de transits de navires a chuté de 29 % sur l'exercice 2024.¹⁹ Le détournement des navires hors du canal devrait augmenter de 5 % le coût total du transport maritime des échanges concernés et rallonger les trajets de 20 %.²⁰



© iStock / Melissa Kopka

Dans la région du mont Elgon, en Ouganda, les dommages causés aux infrastructures de transport (routes et ponts) sont fréquents durant la saison des pluies. Ce risque s'est accru au cours des 10 à 15 dernières années, avec l'augmentation des précipitations et des crues soudaines. Même lorsque les infrastructures restent intactes, de nombreuses routes – pour la plupart non revêtues – deviennent impraticables pendant et après les épisodes de fortes pluies. Ces conditions réduisent l'accès aux marchés, dégradent la qualité des produits transportés (notamment le café réputé de la région) et augmentent les coûts de transport. Les niveaux élevés de pauvreté limitent la capacité des communautés à s'adapter. Résultat : les exportateurs font face à une baisse de la disponibilité en café de haute qualité, et la volatilité de l'offre peut, à terme, entraîner une hausse des prix pour les consommateurs.²¹

Un centre de distribution situé dans l'Illinois, aux États-Unis, a été gravement endommagé par une tornade en décembre 2021, provoquant l'effondrement d'un mur et d'une partie de la toiture. Six employés d'entrepôt ont tragiquement perdu la vie lors de cet événement.²²



© Getty Images / Michael B. Thomas

C. Main-d'œuvre logistique

Le changement climatique représente également une menace pour la main-d'œuvre logistique, largement exposée aux conditions extérieures. Si la majorité des études se concentre sur l'impact de la chaleur et des vagues de chaleur qui relèvent de la catégorie « chaleur et froid » des CID, d'autres catégories peuvent également poser des problèmes considérables.



Chaleur et froid. Les fortes chaleurs exposent les effectifs au danger des coups de chaleur et de l'épuisement. Elles peuvent aussi provoquer une fatigue accrue et augmenter la probabilité d'erreurs – certaines pouvant entraîner des blessures graves, voire la mort. Dans le secteur logistique, les chauffeurs routiers, les dockers et le personnel des entrepôts comptent parmi les plus vulnérables à ces dangers liés à la chaleur.



Autres CID. La multiplication des tempêtes et des inondations accroît les risques d'accidents pour les chauffeurs routiers. Les phénomènes météorologiques extrêmes peuvent aussi fragiliser les structures d'entrepôts, exposant ainsi les travailleurs à des risques de blessures.

En mer, les marins doivent faire face à divers dangers lors d'épisodes de mauvais temps, qu'il s'agisse des mouvements du navire ou de l'exposition directe aux éléments lorsqu'ils travaillent sur le pont.

Ces aléas représentent non seulement une menace grave pour la santé et la sécurité des travailleurs, mais ils ont aussi des conséquences opérationnelles et économiques. Les blessures ou conditions de travail dangereuses peuvent ralentir les cadences, accroître les taux d'erreurs et, dans certains cas, entraîner des arrêts opérationnels complets. Pour les LSP, cela se traduit **par une perte de productivité, des retards potentiels et une hausse des coûts** liés à la protection des travailleurs, aux assurances ou à la gestion des incidents. Pour les chargeurs, cela implique une **baisse de la qualité de service**, qui peut à son tour perturber **leurs opérations et fragiliser leur position sur le marché**.

Comme les métiers de la logistique sont déjà physiquement exigeants et souvent jugés peu attractifs – en particulier dans des secteurs tels que le transport longue distance ou les opérations portuaires –, les impacts climatiques risquent d'aggraver les **pénuries de main-d'œuvre**.

2 Renforcer la résilience – Des solutions rentables à portée de main

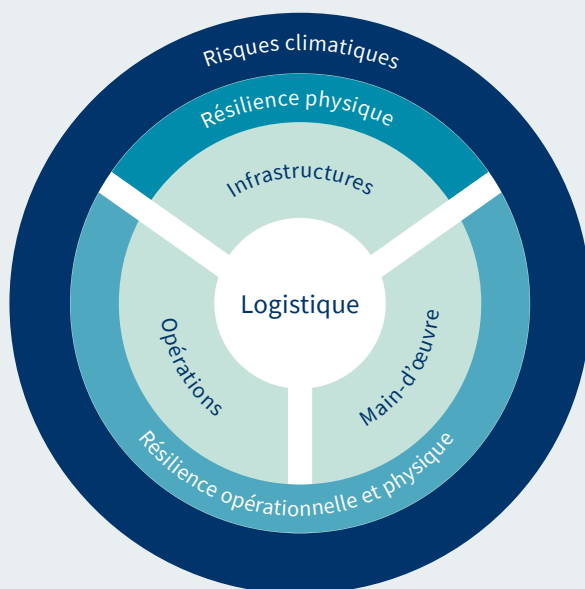
Un large éventail de solutions permet de renforcer la résilience et de favoriser l'adaptation

Si les risques climatiques sont nombreux, les solutions le sont tout autant. Différentes mesures concrètes peuvent contribuer à accroître la résilience et à protéger les infrastructures, les opérations et la main-d'œuvre logistiques.

A. Infrastructures logistiques

Les infrastructures peuvent être renforcées pour résister à l'évolution des régimes météorologiques et aux événements extrêmes grâce à diverses mesures d'ingénierie – par exemple en consolidant les fondations, en intégrant des redondances dans la conception, en utilisant des matériaux adaptés ou en installant des systèmes de protection. Des inspections régulières et un entretien rigoureux contribuent également à préserver leur intégrité. Par ailleurs, les infrastructures peuvent être relocalisées en dehors des zones à haut risque, ou idéalement ne pas être construites dans ces zones. En somme, ces mesures visent à renforcer la **résilience physique** (voir figure 4).

Figure 4 : Résilience physique et opérationnelle pour protéger les infrastructures, les opérations et la main-d'œuvre logistiques



Network Rail, propriétaire et exploitant de la majorité du réseau ferroviaire britannique, déploie un ensemble de mesures pour prévenir le flambage des rails lors des fortes chaleurs. Chaque hiver, des équipes évaluent la stabilité des voies et renforcent les sections fragiles en prévision de l'été. Dans les zones où des rails courts sont assemblés par boulonnage, de petits intervalles sont laissés entre les sections afin de permettre la dilatation thermique. Lorsque cela s'avère nécessaire, certains rails sont peints en blanc pour réduire l'absorption de chaleur, ce qui les maintient plus frais de 5 à 10 °C par rapport aux sections non traitées. Enfin, des capteurs de température installés directement sur les rails permettent de suivre en temps réel leur niveau de chaleur et d'intervenir de manière proactive.²³



Chaleur et froid. L'utilisation de bitume amélioré permet de résister à des températures plus élevées et de réduire le risque de dégradation des routes. Les rails peuvent être peints en blanc afin de limiter l'absorption de chaleur et le risque de flambage associé. Des inspections régulières des assises routières et ferroviaires facilitent les interventions de maintenance préventive et permettent d'éviter des dommages graves liés aux cycles gel-dégel.



Humidité et sécheresse. Les remblais et terrassements peuvent être stabilisés par la végétation pour réduire les risques d'érosion et de glissements de terrain. Les ponts peuvent être inspectés après des crues et, en cas d'affouillement, des travaux de renforcement (comme des enrochements) peuvent être entrepris afin de préserver leur intégrité structurelle.



Vent. Les seuils de conception des ponts peuvent être réévalués afin de résister à des vitesses de vent plus élevées. Les entrepôts, terminaux de fret et autres installations logistiques peuvent être renforcés,

tant au niveau des matériaux que de la structure, pour améliorer leur résistance aux tempêtes. Là encore, des inspections régulières et des travaux de maintenance contribuent à la prévention.



Neige et glace. Les toitures des installations logistiques peuvent être renforcées pour supporter des charges accrues de neige, notamment grâce à des ajustements de conception tels que des pentes plus raides ou l'utilisation de matériaux plus résistants. Des inspections pré-hivernales visant à détecter les faiblesses ou des plans de déneigement permettent également de réduire les risques d'effondrement ou de dommages structurels liés à l'accumulation de neige.



Zones côtières. Les infrastructures côtières peuvent être protégées grâce à des solutions fondées sur la nature, comme les mangroves, ou par des ouvrages de protection tels que digues et levées. Des revêtements spécialisés permettent de limiter la corrosion liée aux immersions répétées dans l'eau salée. Dans certains cas, le déplacement des infrastructures vers des zones moins exposées peut constituer l'option la plus viable à long terme.

2 Renforcer la résilience – Des solutions rentables à portée de main

B. Opérations logistiques

La **résilience physique** ne consiste pas seulement à prévenir les dommages aux infrastructures, mais aussi à garantir la continuité des services d'infrastructure dans des conditions difficiles, protégeant ainsi les opérations logistiques. À l'échelle d'un réseau, la résilience physique implique de disposer de redondances suffisantes (comme des itinéraires alternatifs) afin de maintenir la fonctionnalité si une partie du système est perturbée.

Au-delà de la résilience physique, la **résilience opérationnelle** (voir figure 4) joue un rôle essentiel pour protéger les opérations. Elle repose sur des capacités « immatérielles » – individus, processus et systèmes – qui permettent aux entreprises d'anticiper les perturbations et d'y répondre efficacement.



Chaleur et froid. Pour éviter les restrictions de charge lors des journées très chaudes, les vols les plus lourds peuvent être reprogrammés à des moments plus frais, comme en matinée ou en soirée. Les pistes d'atterrissage peuvent également être rallongées lorsque cela est possible. Les grues peuvent être modernisées avec des systèmes de refroidissement renforcés et des composants résistants à la chaleur pour rester opérationnelles en cas de fortes températures. De même, les installations logistiques peuvent être équipées de systèmes de régulation thermique afin de protéger les stocks contre les dommages liés à la chaleur.



Humidité et sécheresse. Le bon fonctionnement des infrastructures (routes, voies ferrées, aéroports ou entrepôts) repose sur des systèmes de drainage efficaces. Des améliorations permettant une meilleure gestion des eaux pluviales et une capacité accrue de stockage réduisent considérablement le risque d'inondation. Pour les nouvelles constructions, éviter les zones inondables reste la meilleure façon d'éliminer ce besoin.

Dans les régions en développement et les zones reculées – où les infrastructures sont limitées et la redondance du réseau faible –, des solutions locales de stockage peuvent constituer une alternative lorsque les routes deviennent impraticables à cause de fortes pluies.



Vent. Des ajustements opérationnels, une redéfinition de l'espace aérien ou, dans les cas extrêmes, une modification de l'orientation des pistes peuvent contribuer à mieux gérer les vents de travers dans les aéroports. En mer, des arrimages supplémentaires permettent de sécuriser les cargaisons et d'éviter qu'elles ne passent par-dessus bord lors de fortes tempêtes.



Neige et glace. Des clôtures à neige et des brise-vent limitent l'accumulation de congères sur les routes et les voies ferrées. Les équipements de déneigement permettent de rouvrir rapidement les pistes après une tempête. L'utilisation de pneus hiver et de chaînes, associée à la formation des conducteurs, contribue à maintenir la circulation routière dans des contextes de neige et de verglas. Enfin, l'optimisation dynamique des itinéraires et des plannings permet d'ajuster en temps réel les trajets de fret afin d'éviter les segments perturbés.



Zones côtières. Plusieurs mesures permettent de protéger les opérations portuaires contre les inondations côtières. Elles incluent l'amélioration des systèmes de drainage, la surélévation des infrastructures critiques, l'aménagement des zones situées au niveau du sol pour qu'elles puissent accueillir temporairement les eaux de crue, ainsi que le déplacement des stocks vers des étages supérieurs afin d'éviter leur détérioration.

2 Renforcer la résilience – Des solutions rentables à portée de main

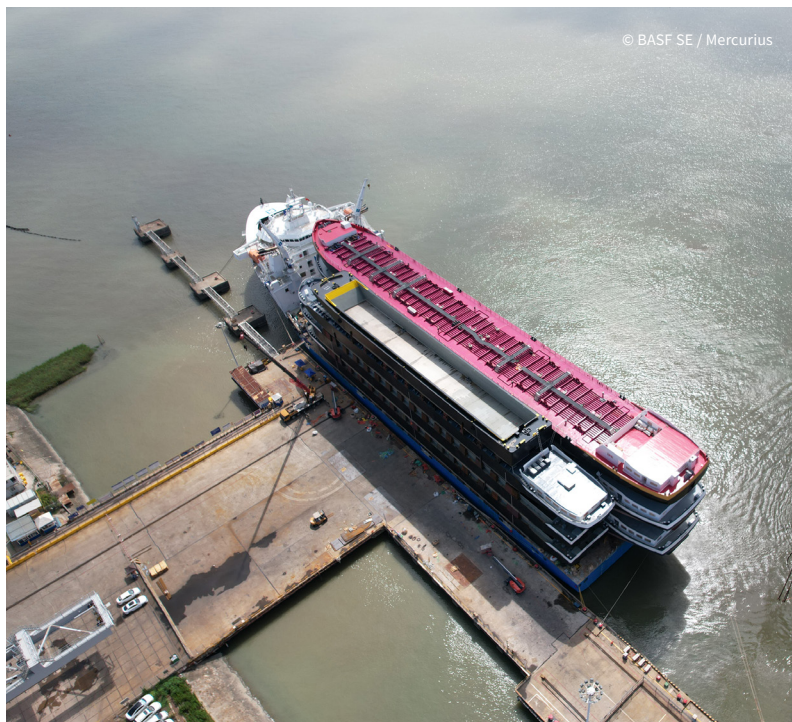
En mars 2024, une tempête de neige survenue dans le Nevada, aux États-Unis, a entraîné la fermeture d'un important col, perturbant les opérations de distribution de Walmart. En réaction, l'entreprise a eu recours à l'analytique prédictive et à l'intelligence artificielle, en exploitant un jumeau numérique de son réseau logistique pour simuler différents scénarios et réacheminer les livraisons. Le système a identifié 85 magasins alternatifs et quatre centres de distribution répartis entre le Nevada, la Californie et l'Oregon pour absorber la charge perturbée. Cet exemple illustre le rôle déterminant que joue désormais la technologie dans le renforcement de l'adaptation climatique du secteur logistique.²⁴



Dans la région du mont Elgon, en Ouganda, les pluies intenses rendent souvent les routes impraticables, retardant le transport du café et augmentant les risques de moisissure et de perte de qualité. Pour s'adapter, un exportateur local utilise des fûts de fermentation hermétiques qui permettent d'entamer le traitement des cerises de café, directement sur place et en toute sécurité. Une fois les routes de nouveau praticables, les fûts sont transportés à moto en contrebas de la montagne. Cette approche permet de préserver la qualité et d'assurer la continuité malgré des perturbations météorologiques fréquentes.



2 Renforcer la résilience – Des solutions rentables à portée de main



BASF et Stolt Tankers ont conjointement développé un nouveau navire-citerne chimique spécialement conçu pour naviguer en conditions de basses eaux extrêmes – un défi de plus en plus courant sur le Rhin, comme l'ont montré les perturbations majeures de 2018 et 2022. Ce navire constitue une étape concrète dans un effort d'adaptation plus large.²⁵ La Commission centrale pour la navigation du Rhin a d'ailleurs défini une stratégie complète pour renforcer la résilience du transport fluvial. Parmi les mesures clés figurent le déploiement de navires à faible tirant d'eau ou rétrofités, le recours accru à des outils numériques de prévision, des investissements ciblés dans les infrastructures et des ajustements opérationnels de la part des chargeurs.²⁶

C. Main-d'œuvre logistique

La sécurité et la productivité de la main-d'œuvre face aux aléas climatiques peuvent être renforcées grâce à un ensemble de mesures relevant à la fois **de la résilience physique et de la résilience opérationnelle** (voir figure 4).



Chaleur et froid. Pour atténuer les risques liés aux fortes chaleurs, une mesure simple mais efficace consiste à installer la climatisation dans les camions, les cabines de grues et les entrepôts. Pour le personnel travaillant en extérieur, les horaires peuvent être adaptés afin de limiter l'exposition aux heures les plus chaudes, et des formations peuvent être dispensées pour gérer les conditions de



forte chaleur en toute sécurité. Dans les ports et terminaux intérieurs des pays les plus riches, l'adoption de véhicules et de grues autonomes contribue également à réduire l'exposition humaine lorsque les conditions de travail sont défavorables.

Autres CID. La protection du personnel lors d'événements météorologiques extrêmes doit reposer sur des systèmes d'alerte précoce, des protocoles de sécurité clairs et un réseau de communication fiable, afin de garantir une réaction rapide et une coordination efficace.

2 Renforcer la résilience – Des solutions rentables à portée de main

Les mesures d'adaptation sont souvent rentables

Les études consacrées au coût de l'adaptation climatique se sont principalement concentrées sur les pays en développement. La Banque mondiale, par exemple, a évalué le coût du renforcement de la résilience climatique des infrastructures dans les pays à revenu faible et intermédiaire. Elle a estimé que ces mesures représentaient environ **3 % supplémentaires par rapport au coût total des investissements en infrastructures**. Les résultats mettent en évidence une forte rentabilité : dans 96 % des scénarios étudiés, **le ratio coût-bénéfice était supérieur à 1** ; dans 77 %, il dépassait 2 ; et dans plus de 55 % des cas, il était supérieur à 4.¹⁸

Bien que ces résultats ne soient pas universellement transposables, ils montrent que des mesures ciblées d'adaptation, notamment pour les infrastructures très exposées ou vulnérables, peuvent représenter **un rapport coût-efficacité très favorable**.

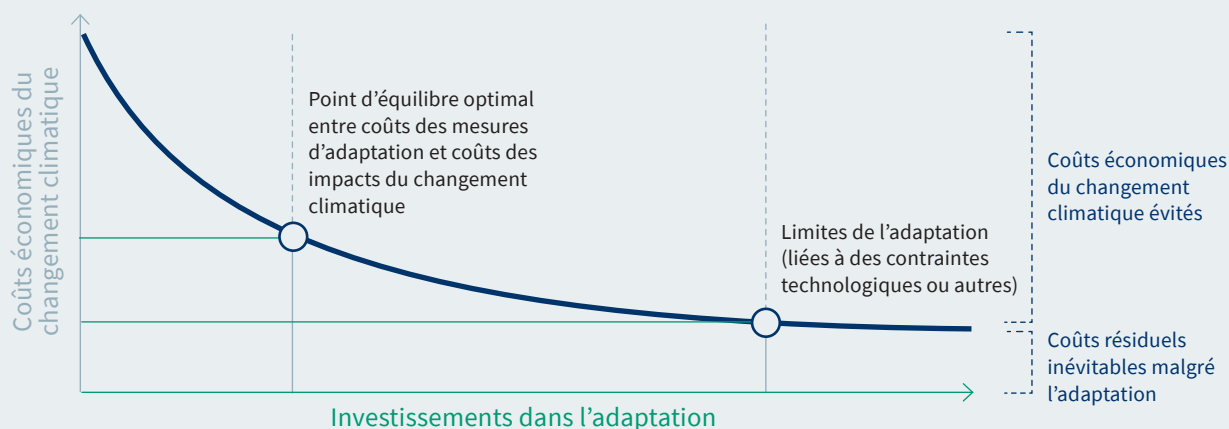
Il est important de souligner que ces études portent essentiellement sur la résilience physique. Les mesures liées à la résilience opérationnelle sont souvent considérées comme moins coûteuses, même si leurs coûts et bénéfices réels varient fortement en fonction du contexte.

L'adaptation réduit les risques, mais ne les élimine pas totalement

De manière générale, les investissements dans l'adaptation climatique peuvent réduire considérablement les pertes financières liées aux aléas climatiques, les économies réalisées étant généralement d'autant plus importantes que les investissements sont élevés (voir figure 5). Toutefois, il existe **des limites économiques à l'adaptation** : elles apparaissent lorsque le coût de mise en œuvre des mesures dépasse la valeur des pertes qu'elles permettent d'éviter. Dans certains cas, l'adaptation à certains risques peut s'avérer trop coûteuse, ou n'être rentable qu'à des niveaux plus élevés de réchauffement climatique.

De plus, l'adaptation ne peut pas éliminer l'ensemble des pertes liées au climat. Certains **impacts résiduels** demeureront inévitables, notamment en raison d'événements exceptionnels et incontrôlables comme les méga-feux ou les ouragans de forte intensité, qui peuvent dépasser la capacité des dispositifs d'adaptation, même les plus solides. Dans de telles situations, l'assurance climatique joue un rôle crucial, en particulier pour les entreprises de taille plus réduite ou concentrées géographiquement.

Figure 5 : Lien entre investissements d'adaptation et coûts économiques du changement climatique



Source : Agence européenne pour l'environnement

3 La voie à suivre – Quel rôle pour les chargeurs et les LSP ?

De multiples parties prenantes contribuent à l'adaptation logistique

Adapter le secteur de la logistique à un monde en réchauffement exige la mobilisation de nombreuses parties prenantes. Trois groupes se trouvent au cœur de cette dynamique : les **chargeurs**, qui doivent acheminer les marchandises ; les **LSP**, qui organisent ces flux et les activités associées ; et les **propriétaires d'infrastructures logistiques**, responsables des grands actifs tels que routes ou ports. Ces rôles ne sont pas toujours distincts : certains chargeurs gèrent leur logistique en interne, et chargeurs comme LSP peuvent également détenir des infrastructures logistiques, comme des entrepôts ou des terminaux portuaires.

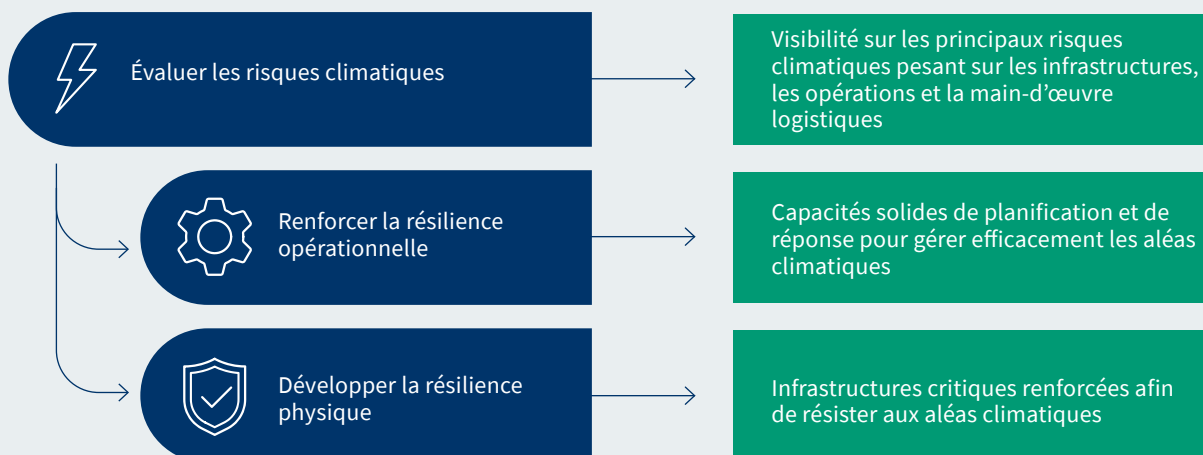
Au-delà de ces acteurs centraux, un écosystème plus large contribue à l'adaptation climatique : **les instances gouvernementales et intergouvernementales** façonnent l'environnement favorable grâce aux politiques, aux normes et aux financements publics ; **les institutions financières et assureurs** permettent l'investissement et la gestion des risques ; **les associations professionnelles** favorisent l'action collective et renforcent la représentation du secteur ; **les entreprises de**

construction et d'ingénierie conçoivent et rénovent des infrastructures résilientes ; **les fournisseurs de technologies** apportent outils et expertise ; **enfin, les organisations académiques et de recherche** produisent des connaissances et stimulent l'innovation.

Ce document se concentre sur le rôle des chargeurs et des LSP. Même si l'ampleur et l'incertitude liées à l'adaptation climatique peuvent sembler décourageantes, il existe un ensemble de « valeurs sûres », à savoir des mesures que ces acteurs peuvent entreprendre pour protéger leurs opérations logistiques, sans oublier les infrastructures et la main-d'œuvre qui les soutiennent. Ces actions s'articulent autour de trois piliers stratégiques : l'évaluation des risques climatiques, le renforcement de la résilience opérationnelle et le développement de la résilience physique (voir figure 6).

Les paragraphes suivants détaillent ces axes. Étant donné que les besoins et le degré de maturité des entreprises diffèrent, les informations présentées peuvent servir de liste de référence pratique pour guider leurs efforts d'adaptation logistique.

Figure 6 : Les trois piliers stratégiques pour permettre aux chargeurs et aux LSP de développer une logistique résiliente face au climat



3 La voie à suivre – Quel rôle pour les chargeurs et les LSP ?

Une adaptation efficace commence par l'évaluation des risques climatiques

Renforcer la résilience opérationnelle et physique, et s'adapter à un monde plus chaud, passe d'abord par une évaluation rigoureuse des risques. Cela implique d'identifier les principaux **aléas climatiques**, de comprendre comment ils évolueront dans le temps et d'analyser leurs impacts potentiels sur **les infrastructures, les opérations et la main-d'œuvre logistiques** – à l'échelle des chaînes d'approvisionnement et des réseaux logistiques des chargeurs et des LSP. Étant donné que les données historiques ne suffisent plus à prédire les risques futurs, les chargeurs et LSP doivent adopter une approche prospective, en mobilisant des projections climatiques et des outils analytiques avancés. Des prestataires externes peuvent appuyer ces évaluations en fournissant données, capacités de modélisation et expertise spécialisée.

La collecte de données sur les aléas ne suffit toutefois pas : les chargeurs et LSP doivent également évaluer leur exposition et leur vulnérabilité. Une analyse **de l'exposition** doit identifier quels éléments logistiques (p. ex., un entrepôt et son personnel, une route) se trouvent dans des zones à haut risque et sont donc exposés aux aléas climatiques. Une analyse de **la vulnérabilité** doit, quant à elle, mesurer dans quelle mesure ces éléments exposés sont susceptibles d'être perturbés ou endommagés. Ainsi, une route située dans une zone inondable présente une forte exposition aux crues, mais sa vulnérabilité dépend de facteurs comme la capacité de drainage ou l'existence d'itinéraires alternatifs sur le réseau.

Dans un premier temps, il peut être utile pour les entreprises de mener ces évaluations séparément de leurs processus globaux de gestion des risques. Toutefois, pour bâtir une résilience à long terme, il est indispensable d'intégrer les évaluations des risques climatiques dans **le cadre général de gestion des risques de l'entreprise**. Cette intégration garantit que les risques climatiques soient pris en compte au même titre que les autres risques opérationnels et stratégiques.

Dans la mesure du possible, les chargeurs et les LSP devraient collaborer à l'évaluation des risques climatiques. De la même manière que de nombreux LSP fournissent déjà à leurs clients des données sur les émissions de gaz à effet de serre, ils peuvent aussi offrir une visibilité précieuse sur les risques climatiques. Grâce à leur expertise et à leur expérience de terrain, les LSP sont particulièrement bien placés pour mener des évaluations couvrant l'ensemble des réseaux et soutenir ainsi leur base de clients plus large. En intégrant l'évaluation des risques climatiques à leur **gamme de services**, les LSP contribuent non seulement aux efforts d'adaptation de leurs clients, mais ils se créent aussi l'opportunité de se démarquer sur le marché.

Les chargeurs et les LSP doivent concentrer leurs efforts sur le renforcement de la résilience opérationnelle

Pour gérer efficacement les aléas climatiques, les chargeurs et les LSP doivent développer une **résilience opérationnelle** de pointe, reposant à la fois sur des capacités solides de **planification** et de **réponse**. Une grande partie de ces pratiques s'appuie sur les principes déjà établis de la gestion de la résilience, applicables à tout type de perturbation – qu'elle soit liée au climat, à un conflit géopolitique ou à un autre choc externe.

3 La voie à suivre – Quel rôle pour les chargeurs et les LSP ?

La résilience opérationnelle repose sur la planification. Sur la base des évaluations de risques climatiques, les chargeurs et les LSP peuvent définir des scénarios de perturbation potentiels et les intégrer à la planification de leur chaîne d'approvisionnement. La planification par scénarios aide les entreprises à évaluer leur capacité de réponse et à tester différentes mesures de contingence tactiques et stratégiques – par exemple, le recours à des itinéraires ou à des modes de transport alternatifs. Pour les chargeurs, cela peut aussi impliquer d'honorer les commandes à partir de centres de distribution différents, de maintenir des stocks tampons ou encore de diversifier leurs fournisseurs. Des simulations de perturbations climatiques et des tests de résistance permettent d'évaluer l'efficacité de ces mesures et, plus largement, le niveau global de résilience.

La résilience opérationnelle exige également de solides capacités de réponse. La visibilité en temps réel sur le réseau, les mécanismes d'alerte précoce et les protocoles d'urgence sont essentiels pour permettre une action rapide et efficace lors de perturbations climatiques. Les entreprises devraient également mettre en place des équipes dédiées à la gestion de crise, de véritables « cellules de crise » chargées de piloter la réponse aux événements, et organiser régulièrement des formations et exercices afin de garantir un haut niveau de préparation.

Lorsque cela est approprié, les chargeurs et les LSP devraient collaborer étroitement : une **coordination renforcée** peut considérablement accroître la résilience. La planification conjointe de scénarios et l'élaboration de mesures de contingence communes permettent par exemple d'harmoniser les réponses et de réduire les vulnérabilités.

L'ensemble de ces composantes de la résilience opérationnelle devrait être consigné dans des **plans de continuité d'activité** complets et régulièrement actualisés.

La résilience opérationnelle doit être complétée par la résilience physique

Lorsque les évaluations des risques climatiques révèlent la vulnérabilité d'infrastructures logistiques critiques (avec des conséquences potentielles telles que des dommages matériels, des perturbations opérationnelles ou des risques pour la sécurité du personnel), il est nécessaire d'agir non seulement sur la résilience opérationnelle, mais aussi sur le **renforcement physique** des infrastructures. Cela implique de consolider et de moderniser les actifs existants, de concevoir de nouvelles infrastructures capables de résister aux aléas climatiques, et de mettre en place des protocoles rigoureux d'inspection et de maintenance pour garantir leur fiabilité dans la durée.

Si les chargeurs ou les LSP sont propriétaires d'infrastructures exposées (comme un centre de distribution), ils devraient collaborer étroitement avec des ingénieurs spécialisés afin d'identifier et de mettre en œuvre les mesures de renforcement appropriées. Ces améliorations doivent être intégrées aux **plans directeurs de l'installation** et être clairement justifiées d'un point de vue économique. Lorsque cela est possible, les entreprises devraient également évaluer les options de **relocalisation** des actifs vulnérables ou d'ajout de **redondances** dans leurs réseaux de distribution. Par ailleurs, les processus de maintenance devraient inclure des inspections régulières (telles que des évaluations annuelles de l'état des installations et des contrôles après incident) afin de détecter rapidement toute fragilité potentielle.

Lorsque les infrastructures logistiques critiques (terminaux portuaires, routes ou ponts) n'appartiennent pas aux chargeurs ou aux LSP, collaborer avec les propriétaires d'infrastructures, les autorités publiques et les acteurs de l'écosystème devient indispensable.

3 La voie à suivre – Quel rôle pour les chargeurs et les LSP ?

Cette collaboration peut prendre la forme d'un dialogue direct, notamment via des échanges bilatéraux, ou **d'une action collective menée au sein d'associations professionnelles** et d'organisations sectorielles. Les chargeurs et les LSP peuvent y contribuer en partageant leurs données opérationnelles et leurs analyses de risques, afin d'aider les propriétaires

d'infrastructures à mieux cerner les vulnérabilités et à consolider les arguments économiques en faveur des investissements nécessaires. Lorsque leur envergure et leur influence le permettent, ils peuvent également s'engager dans des **partenariats public-privé** pour co-développer des solutions et co-investir dans le renforcement des infrastructures exposées.

Encadré 4. Points d'attention spécifiques aux pays en développement

Les pays à revenu faible et intermédiaire sont souvent plus exposés et plus vulnérables aux risques climatiques que les pays à revenu élevé. Les chargeurs et LSP opérant dans ces régions doivent comprendre ces réalités et les intégrer pleinement dans leurs efforts d'adaptation.

Premièrement, cela implique d'adapter leurs stratégies aux contextes locaux. Cela suppose de bien cerner les vulnérabilités régionales et de collaborer avec les acteurs locaux, tels que les petits transporteurs et les organisations communautaires, notamment là où les réseaux logistiques informels jouent un rôle essentiel. Deuxièmement, il convient de favoriser le partage des connaissances. Les chargeurs et LSP disposant d'opérations ou de partenariats dans les pays en développement devraient activement diffuser les bonnes pratiques, outils et données auprès de leurs homologues locaux. Cela peut inclure, par exemple, le partage de méthodologies d'évaluation des risques climatiques ou de planification de la continuité des activités. Troisièmement, dans la mesure du possible, les chargeurs et LSP devraient soutenir ou co-investir dans la modernisation ou la création d'infrastructures logistiques résilientes. La collaboration avec des banques multilatérales de développement, des agences de financement ou des partenariats public-privé peut faciliter la réalisation de projets tels que des entrepôts adaptés au climat ou des chaînes du froid alimentées par des énergies renouvelables.

Conclusion

Les aléas climatiques, qu'il s'agisse de l'évolution des régimes météorologiques ou d'événements extrêmes, affectent les systèmes logistiques de multiples manières. Si leurs impacts varient selon les contextes, ils touchent généralement un ou plusieurs des trois éléments clés : les infrastructures, les opérations et la main-d'œuvre.

Pour gérer efficacement les risques liés aux aléas climatiques – qui s'intensifient à mesure que la planète se réchauffe –, la résilience doit être intégrée au cœur même des systèmes logistiques. La résilience physique consiste à renforcer les infrastructures et à protéger les opérations et la main-d'œuvre qui en dépendent. La résilience opérationnelle, quant à elle, repose sur les capacités immatérielles nécessaires pour anticiper et gérer les aléas climatiques, avec pour objectif principal de préserver la continuité des opérations et la sécurité du personnel. Ces deux dimensions sont indissociables : si le rapport coût-bénéfice varie selon les mesures mises en œuvre, les données montrent que des investissements ciblés en matière de résilience offrent, dans la grande majorité des cas, des retombées positives.

Les chargeurs et les LSP assurent au quotidien la gestion des activités logistiques : ils relient les réseaux et soutiennent les industries et systèmes qui font fonctionner nos sociétés modernes. À ce titre, ils sont à la fois directement touchés par les aléas climatiques et essentiels pour impulser le changement au sein du secteur. Cependant, les efforts d'adaptation demeurent limités dans les deux groupes. Certains chargeurs ont commencé à élaborer des stratégies d'adaptation climatique, mais celles-ci se concentrent souvent sur la production, en accordant peu d'attention à la logistique. Du côté des LSP, les démarches se limitent le plus souvent à une planification de la continuité des activités, sans véritable remise en question ni approche transformatrice.

Les chargeurs et les LSP doivent accélérer leurs efforts d'adaptation. Plusieurs mesures à effet certain peuvent être mises en œuvre pour protéger les opérations logistiques, ainsi que les infrastructures et la main-d'œuvre qui les soutiennent. Ces actions s'articulent autour de trois piliers stratégiques : premièrement, évaluer les risques climatiques tout au long des chaînes

d'approvisionnement et des réseaux logistiques, en tenant compte des aléas, de l'exposition et des vulnérabilités. Deuxièmement, renforcer la résilience opérationnelle en adoptant les meilleures pratiques du secteur, ce qui suppose avant tout une planification rigoureuse et des capacités de réponse solides. Troisièmement, accroître la résilience physique, soit en agissant directement sur les infrastructures détenues, soit en collaborant avec les propriétaires et exploitants d'infrastructures.

Si les chargeurs et les LSP ont un intérêt commercial évident à s'adapter aux risques climatiques, il existe également un enjeu sociétal majeur à garantir la résilience des systèmes logistiques. Ces systèmes constituent l'ossature du commerce et de l'activité économique : ils assurent le transport des biens nécessaires aux entreprises et l'approvisionnement des populations en produits essentiels. Ils sont également vitaux pour les communautés locales dont les moyens de subsistance en dépendent. Des perturbations répétées ou une défaillance durable des systèmes logistiques auraient de lourdes conséquences pour ces territoires, entraînant la perte de flux commerciaux et le déplacement des activités. À ce titre, les professionnels de la logistique ont la responsabilité de sensibiliser leurs clients, prestataires, assureurs et autorités publiques à l'importance de l'adaptation, afin d'accélérer la transformation du secteur.

L'un des principaux défis du secteur logistique tient au fait que l'adaptation au changement climatique doit progresser parallèlement à la décarbonation et au développement rapide de nouvelles capacités face à d'autres mutations majeures : instabilité géopolitique, technologies émergentes, évolutions démographiques. Trouver le bon équilibre entre ces priorités n'est pas chose aisée, mais il ne faut pas les considérer comme concurrentes. En réalité, adaptation et décarbonation se renforcent souvent mutuellement ²⁷, et contribuent à bâtir des systèmes logistiques plus efficaces, plus résilients et mieux préparés pour l'avenir.

Il est maintenant temps d'agir. Reporter l'adaptation ne fera qu'accroître les risques et les coûts pour les entreprises, les chaînes d'approvisionnement et l'ensemble de la société.

Sources

- 1 Logistics (2025). *Wikipedia*. Disponible sur: <https://en.wikipedia.org/wiki/Logistics>.
- 2 Koks, E.E., Rozenberg, J., Zorn, C. et al. (2019). A global multi-hazard risk analysis of road and railway infrastructure assets, *Nat Commun*, 10 (2677). DOI: 10.1038/s41467-019-10442-3.
- 3 Verschuur, J., Koks, E.E., Li, S. et al. (2023). Multi-hazard risk to global port infrastructure and resulting trade and logistics losses, *Commun Earth Environ*, 4 (5). DOI: 10.1038/s43247-022-00656-7.
- 4 McKinnon, A. (2024). Logistics and climate: an assessment of logistics' multiple roles in the climate crisis, *International Journal of Logistics Research and Applications*, 27 (12). DOI: 10.1080/13675567.2024.2367534.
- 5 IPCC (2022). Decision-Making Options for Managing Risk. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. DOI: 10.1017/9781009325844.026.
- 6 IPCC (2022). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. DOI: 10.1017/9781009325844.001.
- 7 WEF (2024). *Business on the Edge: Building Industry Resilience to Climate Hazards*. Disponible sur: <https://www.weforum.org/publications/business-on-the-edge-building-industry-resilience-to-climate-hazards/>.
- 8 Changing Transport (2021). *Resilience on the Slow Lane?* Disponible sur: <https://changing-transport.org/transport-resilience-ndcs/>.
- 9 Changing Transport (nd). SLOCAT Findings from the previous rounds of NDCs. In: *NDC Transport Tracker*. Disponible sur: <https://changing-transport.org/tracker/>.
- 10 Goldstein, A., Turner, W., Gladstone, J. and Hole, D. (2019). The private sector's climate change risk and adaptation blind spots, *Nature Climate Change*, 9. DOI: 10.1038/s41558-018-0340-5.
- 11 IPCC (2021). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. DOI: 10.1017/9781009157896.001.
- 12 Copernicus (2025). The 2024 Annual Climate Summary: Global Climate Highlights 2024. Disponible sur: <https://climate.copernicus.eu/global-climate-highlights-2024>.
- 13 Barnes, E., Diffenbaugh, N., and Seneviratne, S (2024). Combining climate models and observations to predict the time remaining until regional warming thresholds are reached. *Environmental Research Letters*, 20 (1). DOI: 10.1088/1748-9326/ad91ca.
- 14 IPCC (2022). Key Risks Across Sectors and Regions. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. DOI: 10.1017/9781009325844.025.

Sources

- 15 IPCC (2021). Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. DOI: 10.1017/9781009157896.013.
- 16 IPCC (2021). Climate Change Information for Regional Impact and for Risk Assessment. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. DOI: 10.1017/9781009157896.014.
- 17 Koks, E. E., van Ginkel, K., van Marle, M., and Lemnitzer, A. (2022). Brief communication: Critical infrastructure impacts of the 2021 mid-July western European flood event, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 22 (12). DOI: 10.5194/nhess-22-3831-2022.
- 18 Hallegatte, S., Jun R., and Julie R. (2019). *Lifelines: The Resilient Infrastructure Opportunity*. Sustainable Infrastructure Series. Washington, DC: World Bank. DOI: 10.1596/978-1-4648-1430-3.
- 19 LaRocco, L. (2024). 'Panama Canal says shipping rebound is underway after record drought', *CNBC*, 12 November. Disponible sur: <https://www.cnbc.com/2024/11/12/panama-canal-cargo-container-trade-rebound-record-drought.html>.
- 20 McKinsey (2024). *How could Panama Canal restrictions affect supply chains?* Disponible sur: <https://www.mckinsey.com/industries/logistics/our-insights/how-could-panama-canal-restrictions-affect-supply-chains>.
- 21 UNDP Uganda (2013). *Vulnerability Impact Assessment (VIA) for the Mt Elgon Ecosystem*. Disponible sur: https://www.adaptation-undp.org/sites/default/files/resources/undp_ugandaunepunep-wcmc_2013_uganda_via_report.pdf.
- 22 Palmer, A. (2021). 'Amazon drivers sought safety at warehouse as tornado hit but found only death and destruction', *CNBC*, 20 December. Disponible sur: <https://www.cnbc.com/2021/12/20/amazon-warehouse-in-illinois-hit-by-tornado-killing-6.html>.
- 23 Network Rail (nd). *Buckled Rail*. Disponible sur: <https://www.networkrail.co.uk/running-the-railway/looking-after-the-railway/delays-explained/buckled-rail-and-summer-heat/>.
- 24 Castillo, M. (2024). 'The two-day or less shipping Americans have come to expect faces a climate change threat', *CNBC*, 24 August. Disponible sur: <https://www.nbcnews.com/business/economy/two-day-shipping-climate-change-amazon-walmart-rcna168077>.
- 25 BASF (2022). *Celebrating a milestone: Hull of innovative tanker 'Stolt Ludwigshafen' arrives in Rotterdam*. Disponible sur: <https://www.basf.com/eg/en/who-we-are/organization/locations/europe/german-sites/ludwigshafen/the-site/news-and-media/news-releases/2022/11/p-22-355>.
- 26 CCNR (2023). *"Act now!" on low water and effects on Rhine navigation*. Disponible sur: https://www.ccr-zkr.org/files/documents/infovoienavigable/Act_now_3_0_en.pdf.
- 27 McKinnon, A. (2024). *Evaluating the relationships between connectivity, decarbonisation and resilience in freight transport*. Disponible sur: <https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/sipa-methodology-relationships.pdf>.



CLIMATE CENTER

by Kühne Foundation

Kuehne Climate Center
Grosser Grasbrook 17
20457 Hamburg
Allemagne

Email: climate@kuehne-foundation.org
[https://www.kuehne-stiftung.org/areas/
climate/climate-center](https://www.kuehne-stiftung.org/areas/climate/climate-center)